



CHEMIE OVZDUŠÍ

Přednáška č. 10

Organizace studia

- Přednášející: Ing. Marek Staf, Ph.D., tel.: 220 444 458
e-mail: marek.staf@vscht.cz
web: <http://web.vscht.cz/~stafm/>
budova A, ústav 216, č. dveří 162
e-learning:
<https://e-learning.vscht.cz/course/view.php?id=105>
- Rozsah předmětu: zimní semestr
14 přednášek, 14 týdnů, 2 hodiny/týden
- Klasifikace: zkouška - ústní zkouška
- Poznámka: na předmět „Chemie ovzduší“ volně navazuje
„Technologie ochrany ovzduší“ ⇒ prolínání obsahu
cca 10 %

Osnova přednášky 10

Reakce kyslíku a vody, tvorba oblačnosti a srážek

- Kyslík, jeho elektronová konfigurace v základním a excitovaném stavu a možnosti excitace
- Výskyt a formy kyslíku v atmosféře, vznik atomárního kyslíku a tvorba iontů kyslíku
- Původ vody v troposféře a stratosféře
- Význam oblačnosti pro energetickou bilanci planety
- Tvorba srážek a jejich roční úhrny
- Morfologie oblačnosti

Reakce kyslíku v atmosféře

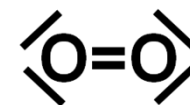
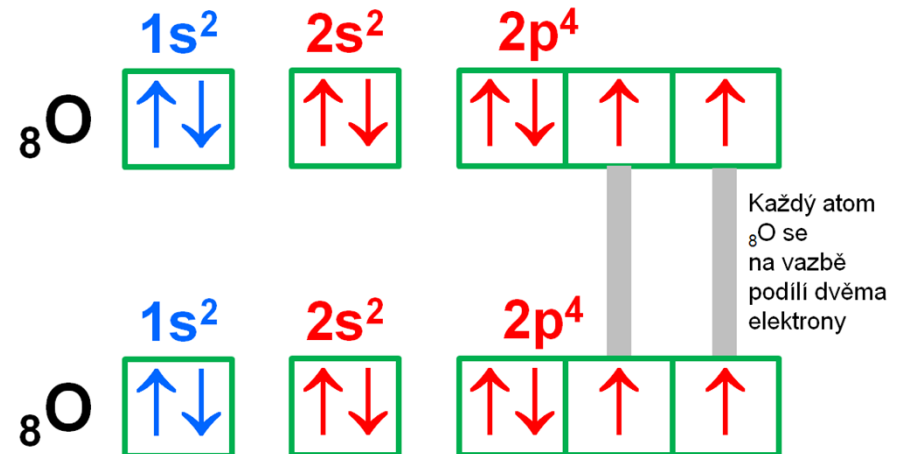
■ Konfigurace kyslíku

– Elektronová konfigurace: $[\text{He}] 2s^2 2p^4$

– Molekulární kyslík:

Základní stav tripletový (paralelní spin) s dvěma nepárovými e⁻

${}^3P_{O_2}$



Excitované stavy singletové (antiparalelní) ${}^1D\Delta_g$ nebo ${}^1D\Sigma_g^+$ bez nepárových elektronů

${}^1D_{O_2}$ velmi reaktivní; značný podíl na fotodegradaci polymerů

Reakce kyslíku v atmosféře

■ Konfigurace kyslíku

- Molekulární kyslík – excitované singletové stavy $^1D\Delta_g$ nebo $^1D\Sigma_g^+$:

Excitace 4 budícími pochody

- přímá fotochemická excitace
- převzetí energie od jiných vybuzených částic
- fotolýza ozonu
- vysokoenergetické reakce produkující kyslík

- Atomární kyslík

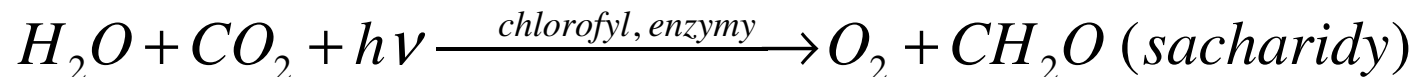
Základní stav tripletový 3P_O

Excitovaný stav singletový 1D_O

Reakce kyslíku v atmosféře

■ Výskyt kyslíku

- Nejhojnější biogenní prvek na Zemi
- Suma volného + vázaného O_2 (hydrosféra + litosféra + atmosféra) = 45,5 % hmotnostních;
- Obsah v atmosféře 20,95 % obj. \approx 23 % hmotnostních;
- Obsah v hydrosféře (v molekulách H_2O + rozpuštěný) 85 % hm.
- Pozn. i na povrchu Měsíce velký obsah (oxidické minerály) 44,6 % hm.
- Volný kyslík prakticky ze 100 % vzniklý biochemicky – fotosyntézou:



Fotosyntéza sumárně silně endotermický sled dějů

Energie dodávána slunečním zářením $\sum_i \Delta H 0_i = 469 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Reakce kyslíku v atmosféře

■ Výskyt kyslíku

- Volný kyslík O_2 na Zemi vždy plynný \Rightarrow bod tání = $-218,8\text{ }^\circ\text{C}$
 \Rightarrow bod varu = $-182,97\text{ }^\circ\text{C}$
- Pozor na omyl:

V plynném skupenství zcela transparentní a bez barvy

V kapalně a tuhé fázi světle modrý, ale (!) modrá barva oblohy není způsobena barvou O_2 , ale Rayleighovým rozptylem světla.



Reakce kyslíku v atmosféře

■ Výskyt kyslíku

- Obsah O₂ ve vodě – omezená rozpustnost

Při 0 °C 49 cm³.l⁻¹

Při 20 °C 31 cm³.l⁻¹

Pozor, v některých organických rozpouštědlech rozpustnost až 10x vyšší!

- Přírodní kyslík = směs tří izotopů (horní index = nukleonové číslo):

→	¹⁶ O	(99,76 %)
→	¹⁷ O	(0,04 %)
→	¹⁸ O	(0,2 %).

Reakce kyslíku v atmosféře

■ Tvorba atomárního kyslíku

- Stabilita atomárního O je obecně nízká, ale v termosféře (80 – 700 km) větší;

Důvod: velmi nízký tlak \Rightarrow malá četnost kolizí s částicí M odebírající excesivní energii při syntéze $O + O = O_2$ a stabilizující molekulu:

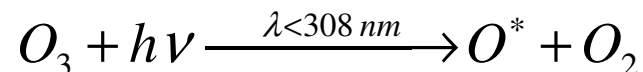
Termosféra: ~~$O + O + M \rightarrow O_2 + M$~~

Úbytek molekulárního O_2 s výškou v tzv. heterosféře: ve 400 km jen 10 %;

- Vznik:

fotolýzou O_2 působením UV záření 135 – 176 nm nebo 240 – 260 nm $O_2 + h\nu \longrightarrow O + O$

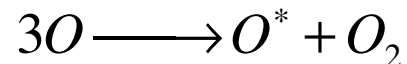
fotolýzou ozonu (O_3 méně stabilní \Rightarrow snadnější štěpení)



Reakce kyslíku v atmosféře

■ Tvorba atomárního kyslíku

- Excitovaný O^* vzniká kromě fotolýzy O_3 ještě vysokoenergetickými reakcemi, jako je:

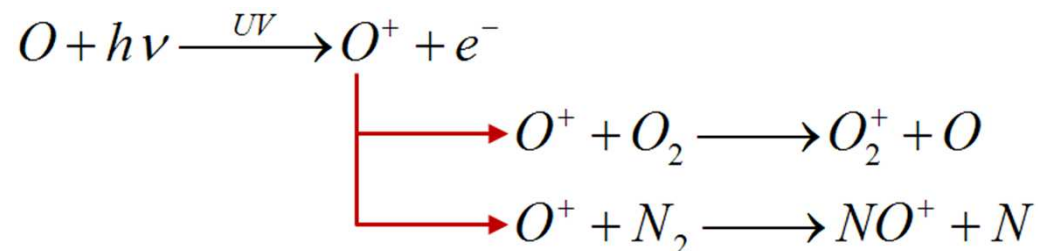


■ Vlastnosti a zánik atomárního kyslíku a tvorba iontů

- Excitovaný O^* emituje záření ve viditelné oblasti spektra s maximy $\lambda = 636, 630$ a 558 nm



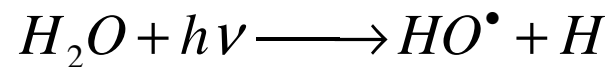
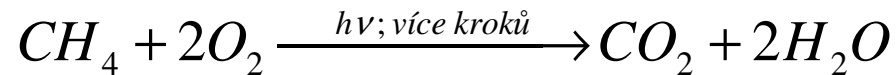
- Toto VIS záření emitováno atmosférou trvale jako tzv. airglow;
- V ionosféře atomární kyslík produkuje kationty O^+ , podílející se na vzniku dalších kationtů:



Voda v atmosféře

■ Troposférická a stratosférická voda

- Voda v troposféře – odpar z povrchu (viz dále oblačnost a cyklus vody);
- Voda ve stratosféře – blokace průniku páry tropopauzou \Rightarrow jiný původ vody: fotochemická oxidace methanu (viz přednáška skleníkové plyny – reakce methanu);
- Voda ve stratosféře = zdroj hydroxylových radikálů:



Atmosférická vlhkost

■ Význam oblačnosti

- míra plošného pokrytí oblohy oblaky
- důležitý faktor pro energetickou bilanci planety (díky albedu = odrazivosti)
 - albedo oblaků až 75 %
 - albedo kontinentů 30 %
 - albedo oceánů 2 – 7 %

Pozn. albedo je definováno pro část spektra, která transportuje většinu energie až na povrch, (cca 300 – 3 000 nm)

- globální hodnota oblačnosti cca 54 %

■ Vznik oblačnosti

- evapotranspirace z povrchu (kontinenty + oceány)
- maximální nasycení vzduchu 4 % obj.
- pára nesena stoupavými (konvekčními) proudy rychlostí 20 – 80 km/h ⇒ nastává pokles tlaku a teploty

Atmosférická vlhkost

- Vznik oblačnosti
 - při poklesu teploty pod rosný bod nastává kondenzace nebo desublimace ($T < 0^{\circ}\text{C}$)
 - vzniká kapalný aerosol nebo aerosol tvořený krystaly ledu
 - výška kondenzační hladiny závisí na roční době a regionu, průměr cca 1 km
 - výška desublimační hladiny v letním období 5 – 6 km, v zimním období 1 – 2 km
- Charakteristika oblačnosti
 - oblačnost = veškeré typy oblak bez ohledu na výšku, tvar atd.
 - oblak = viditelná soustava částic kapalné vody nebo ledu (+ znečišťující látky ve formě aerosolu)
 - průměr kondenzovaných nebo desublimovaných částic cca 0,01 mm

Tvorba srážek

■ Původcem srážek je pouze troposférická voda

– Evapotranspirace → tvorba oblačnosti → dálkový transport → srážky;

– Tvorba dešťových srážek: mechanismus koalescence = srůstání

Primární kondenzace na kondenzačních jádrech (částice prachu, ledu, soli); Primární kapky velmi malé, udržované vertikálními proudy vzduchu ve vznosu.

Koalescence buď spojením kapének v kapalně fázi (tzv. teplý déšť) nebo růstem ledového krystalu z přechlazené vody (-10 až -30 °C, tzv. studený déšť) (Bergeronův proces) s následným táním při pádu;

Pádová rychlost přímo úměrná průměru kapky: dosažení rovnováhy odporu vzduchu a třecí síly vůči gravitační síle, poté rychlost již konstantní;

– Finální průměr dešťových kapek v širokém rozmezí obvykle 0,1 – 5 mm, zřídka až 8 mm a výjimečně (zejm. v tropických oblastech až 10 mm).

Množství srážek

- Roční úhrny srážek
 - Extrémně nízké srážky: Asuán (Egypt) 0,5 mm.rok⁻¹
 - Extrémně vysoké srážky: Kauai (Havaj) 12 090 mm.rok⁻¹
 - Česká republika, srážkový normál 1981-2010: 686 mm.rok⁻¹
- Základní pomůcka – srážkoměr manuální nebo automatizovaný
 - registrační srážkoměr ombrograf se záznamem na papír
 - registrační srážkoměr člunkový s datovým přenosem



Morfologie oblaků

- Morfologicky, podle tvaru, se dělí oblaky na 10 základních druhů
(Zdroj: <http://www.ok1jfh.net/oblaka/oblaka.htm#Ac>)

každý druh se vyskytuje v určité charakteristické výšce = patru

Patra se dělí na nízké, střední a vysoké

Hranice pater nejsou přesně definovány, dochází i k překryvu a posunům hranic v letním a zimním období, viz příklady:

Zima: cirrovitá oblačnost (normálně ve vysokém patře) jen 5 km

Léto: altocumulus (normálně ve středním patře) až 6 km

- Seznam druhů oblaků:

1. Alto cumulus	6. Cumulus
2. Alto stratus	7. Cumulo nimbus
3. Cirrus	8. Nimbo stratus
4. Cirro cumulus	9. Stratus
5. Cirro stratus	10. Strato cumulus

Morfologie oblaků

- Výšková distribuce oblačnosti (Zdroj: <http://altamontanha.com>)

Pozor: Pouze schéma,
oblaka se nenacházejí ve více
patrech najednou!

Z latiny kombinace slov:

cirrus	řasa
stratus	vrstva
cumulus	kupa
nimbus	děšť
altus	vysoký
humilis	nízký
congestus	nahromaděný
mediocris	střední



Morfologie oblaků

- Charakteristika druhů oblaků (Zdroj: <http://www.ok1jfh.net/oblaka/oblaka.htm#Ac>)
- Cirrus (Ci) = tzv. řasa
 - Lokalizace: vysoké patro; 7 – 10 km
 - Charakteristika: vzájemně oddělené oblaky v podobě bílých jemných vláken, bílých plošek nebo úzkých pruhů; vláknitý vzhled a často hedvábný lesk; oblak ledový \Rightarrow netvoří srážky; často příznak blízkosti atmosférické fronty nebo hřebenu vysokého tlaku vzduchu.



Morfologie oblaků

- Charakteristika druhů oblaků (Zdroj: <http://www.ok1jfh.net/oblaka/oblaka.htm#Ac>)
- Cirrocumulus (Cc)
 - Lokalizace: vysoké patro; 7 – 10 km
 - Charakteristika: menší nebo větší skupiny bílých oblak, lidově označovaných jako "beránky". Vyskytují se samostatně i v pravidelně uspořádaných skupinách.



Morfologie oblaků

- Charakteristika druhů oblaků (Zdroj: <http://www.ok1jfh.net/oblaka/oblaka.htm#Ac>)
- Cirrostratus (Cs)
 - Lokalizace: vysoké patro; 7 – 10 km
 - Charakteristika: průsvitný bělavý závoj oblaků vláknitého vzhledu, zakrývající zcela, nebo částečně oblohu. Někdy vzniká tak, že postupně narůstá četnost cirrů, až se slijí v jednolitou vrstvu.



Morfologie oblaků

- Charakteristika druhů oblaků (Zdroj: <http://www.ok1jfh.net/oblaka/oblaka.htm#Ac>)
- Altocumulus (Ac)
 - Lokalizace: střední patro; max. cca 5 km
 - Charakteristika: skupiny bílých až šedých oblaků tvořených zejm. vodními kapkami; na rozdíl od cirrovité oblačnosti vrhají vlastní stín. Altocumulus může existovat i jako souvislá vrstva se zřetelným dělením na jednotlivé oblaky.



Morfologie oblaků

- Charakteristika druhů oblaků (Zdroj: <http://www.ok1jfh.net/oblaka/oblaka.htm#Ac>)
- Altostratus (As)
 - Lokalizace: střední patro; cca 5 km, někdy vysoké 8 km
 - Charakteristika: šedavá vrstva působící hladkým, celistvým dojmem, jindy má vláknitou, či žebrovitou strukturu. V nejtenčích částech může nezřetelně prosvítat slunce. Z Altostratu padají srážky, někdy dosahující povrchu.



Morfologie oblaků

- Charakteristika druhů oblaků (Zdroj: <http://www.ok1jfh.net/oblaka/oblaka.htm#Ac>)
- Nimbostratus (Ns)
 - Lokalizace: střední patro zasahující do nízkého i vysokého
 - Charakteristika: šedá až tmavě šedá jednotvárná oblačnost. Srážky, padající z Ns většinou dosahují povrchu bývají trvalé a intenzivní. Pod spodní základnou Ns se vyskytují nízké oblačné cáry.



Morfologie oblaků

- Charakteristika druhů oblaků (Zdroj: <http://www.ok1jfh.net/oblaka/oblaka.htm#Ac>)
- Stratocumulus (Sc)
 - Lokalizace: nízké a střední patro 1,5 – 3 km
 - Charakteristika: šedé, až bělavé skupiny oblaků, které se skládají z částí podobných valounům, oblázkům a chomáčům. Nemá vláknitý vzhled. Může tvořit srážky slabé intenzity.



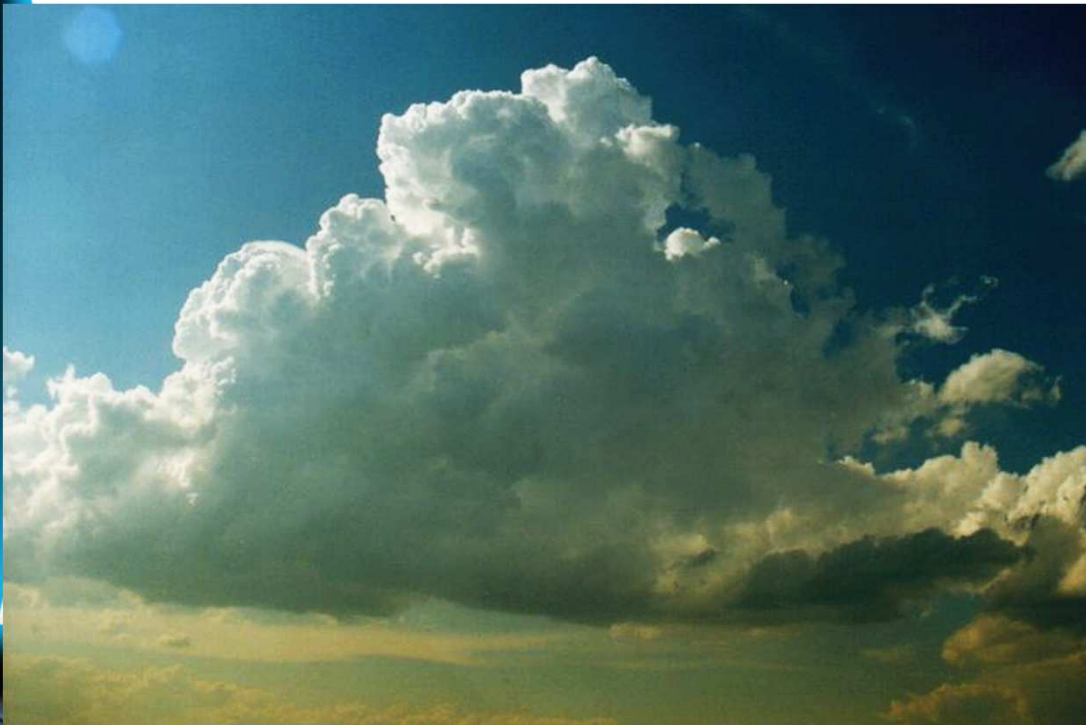
Morfologie oblaků

- Charakteristika druhů oblaků (Zdroj: <http://www.ok1jfh.net/oblaka/oblaka.htm#Ac>)
- Stratus (St)
 - Lokalizace: nízké až střední patro 0,3 – 2 km
 - Charakteristika: šedá oblačná vrstva s jednotvárnou a nízkou základnou, často zakrývající vrcholky kopců. Může jím prosvítat slunce. Často se vyskytuje jen jako místní oblak. Může způsobovat malé srážky (mrholení).



Morfologie oblaků

- Charakteristika druhů oblaků (Zdroj: <http://www.ok1jfh.net/oblaka/oblaka.htm#Ac>)
- Cumulus (Cu)
 - Lokalizace: nízké až střední patro 0,5 – 3 km
 - Charakteristika: osamocená zářivě bílá až našedlá kupa s ohraničenými obrysy, časem se rozpadající s několika stádii (Cu humilis, Cu mediocris, při dostatku vlhkosti a stoupavých proudů až Cu congestus). Tvořen vodním aerosolem, ve středním patru i ledovými krystaly. Může být zdrojem krátkých přeháněk.



Morfologie oblaků

- Charakteristika druhů oblaků (Zdroj: <http://www.ok1jfh.net/oblaka/oblaka.htm#Ac>)
- Cumulonimbus (Cb)
 - Lokalizace: základna 0,2 km, vrchol až 7 – 9 km
 - Charakteristika: mohutný, neprůsvitný bouřkový oblak, kupovitěho tvaru. k vrcholu se někdy zplošťuje za tvorby kovadliny nebo vějíře. Základna velmi tmavá.

